

DCM 크리스탈 냉각용 Cryo-cooler 국산화 개발

진행사항 (기계 장치 분석 및 진단) 보고



세부과제번호 : 3.0000406.08
세부과제명 : DCM 크리스탈 냉각용 크라이오 쿨러 제어기 국산화 개발
연구기간 : 2024.12.01 ~ 2025.11.30

포항가속기연구소
POHANG ACCELERATOR LABORATORY

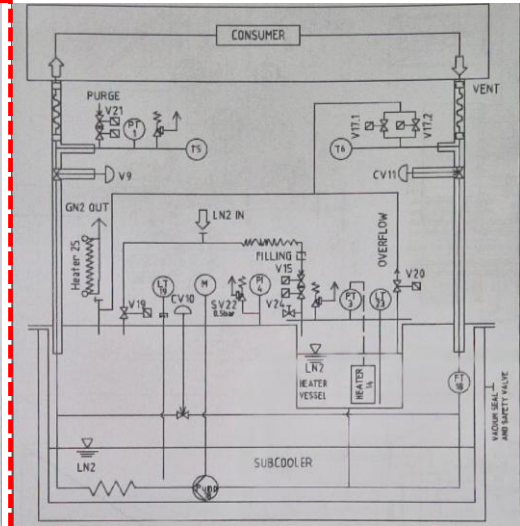
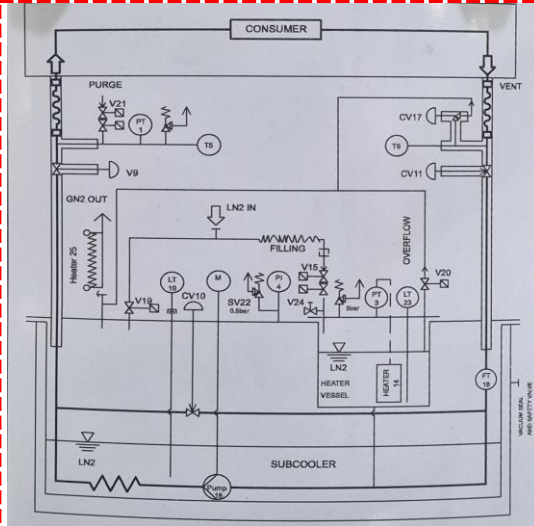
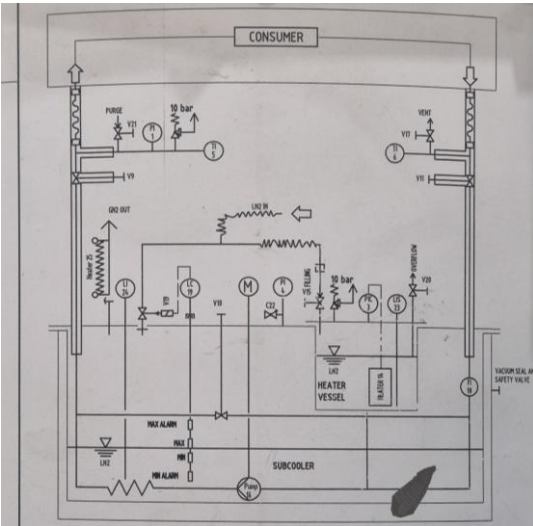
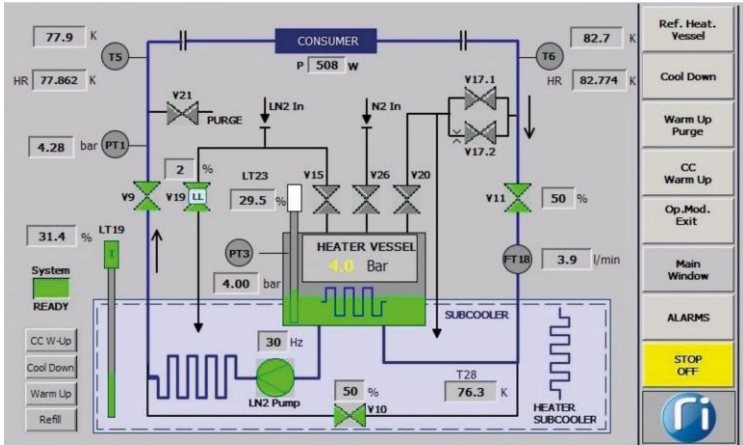
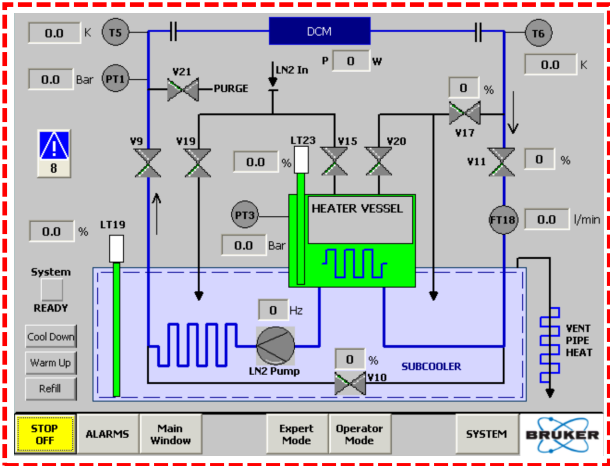
모 형 육

업무 개요 (장치)

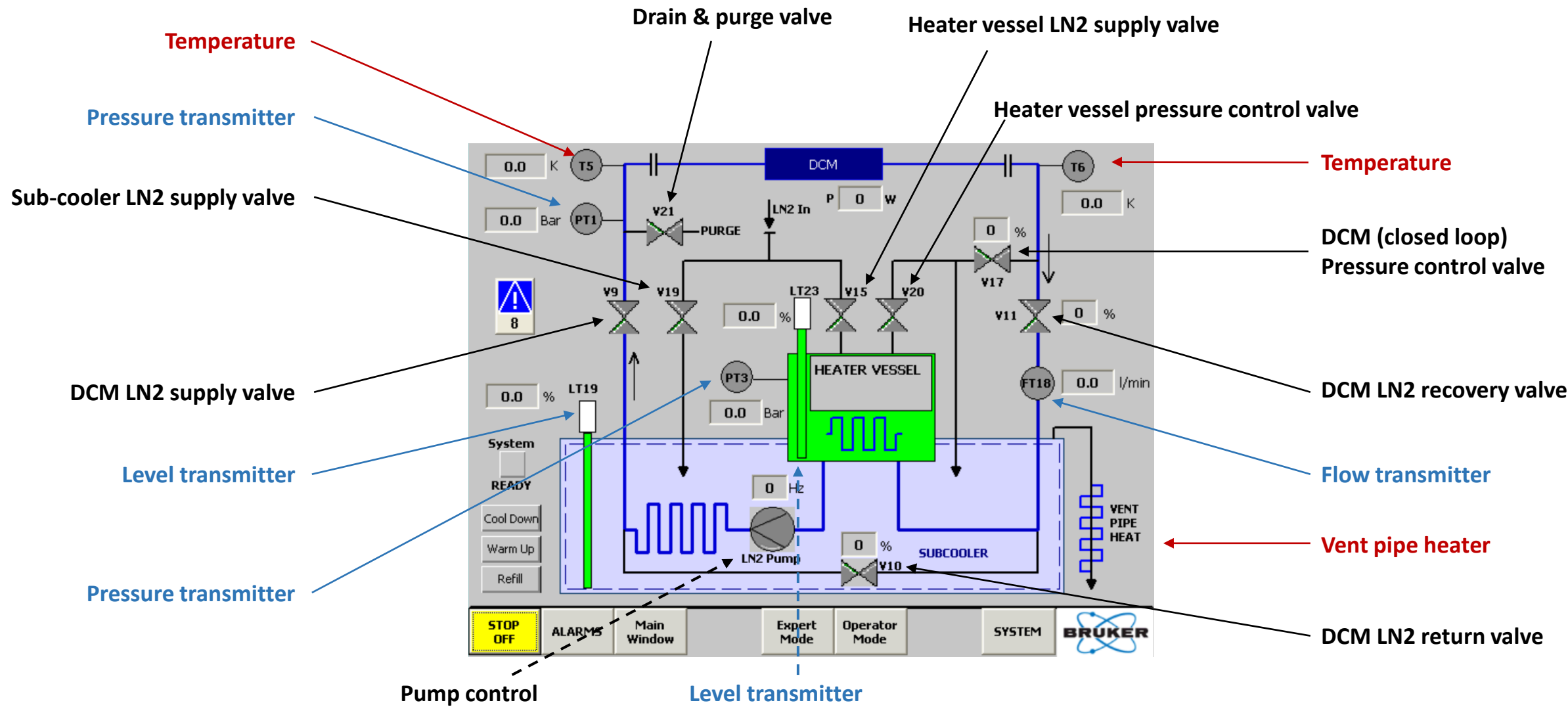
- (정상화) 3C Cryo-cooler 진단, 작동, 정상화
- (압력) LN2 순환을 위한 가압 및 압력강하, 펌프 유량 분석
- (온도) Sub-cooler – Heater vessel (closed loop) - DCM 냉각 시스템 분석
- (설계) 구조 및 연결방식 검토 및 prototype cryo-cooler 설계



Bruker Cryo-cooler 모델에 따른 구조 및 작동 확인



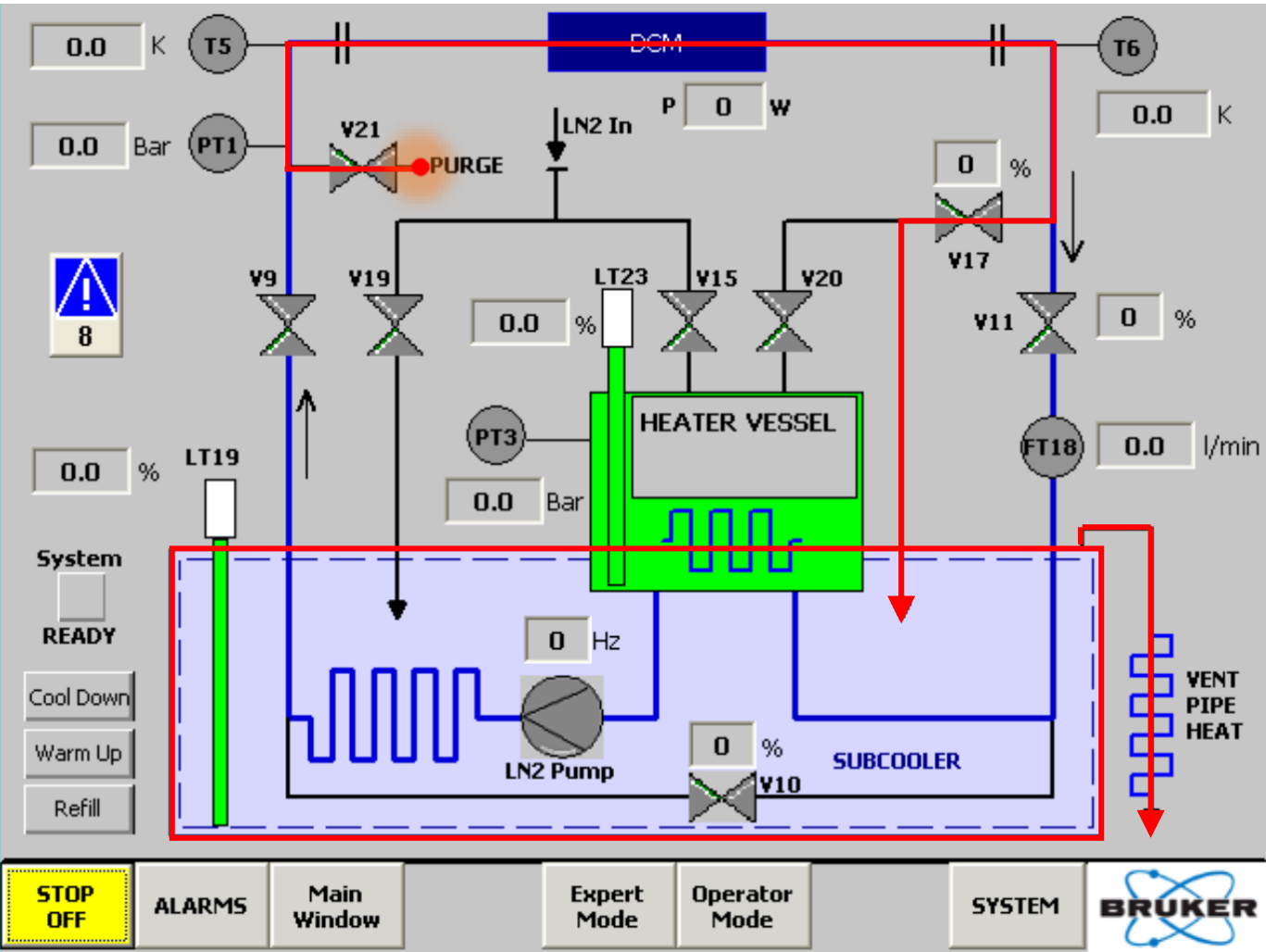
주요 제어(밸브, 센서) 위치 및 기능



- Purging 경로 A
 - Purge, V21, DCM, V17, sub-cooler purging
 - i. Open V21
 - ii. Open V17
 - iii. Open V20 (optional)

▪ Purging 경로 B

▪ Purging 경로 C



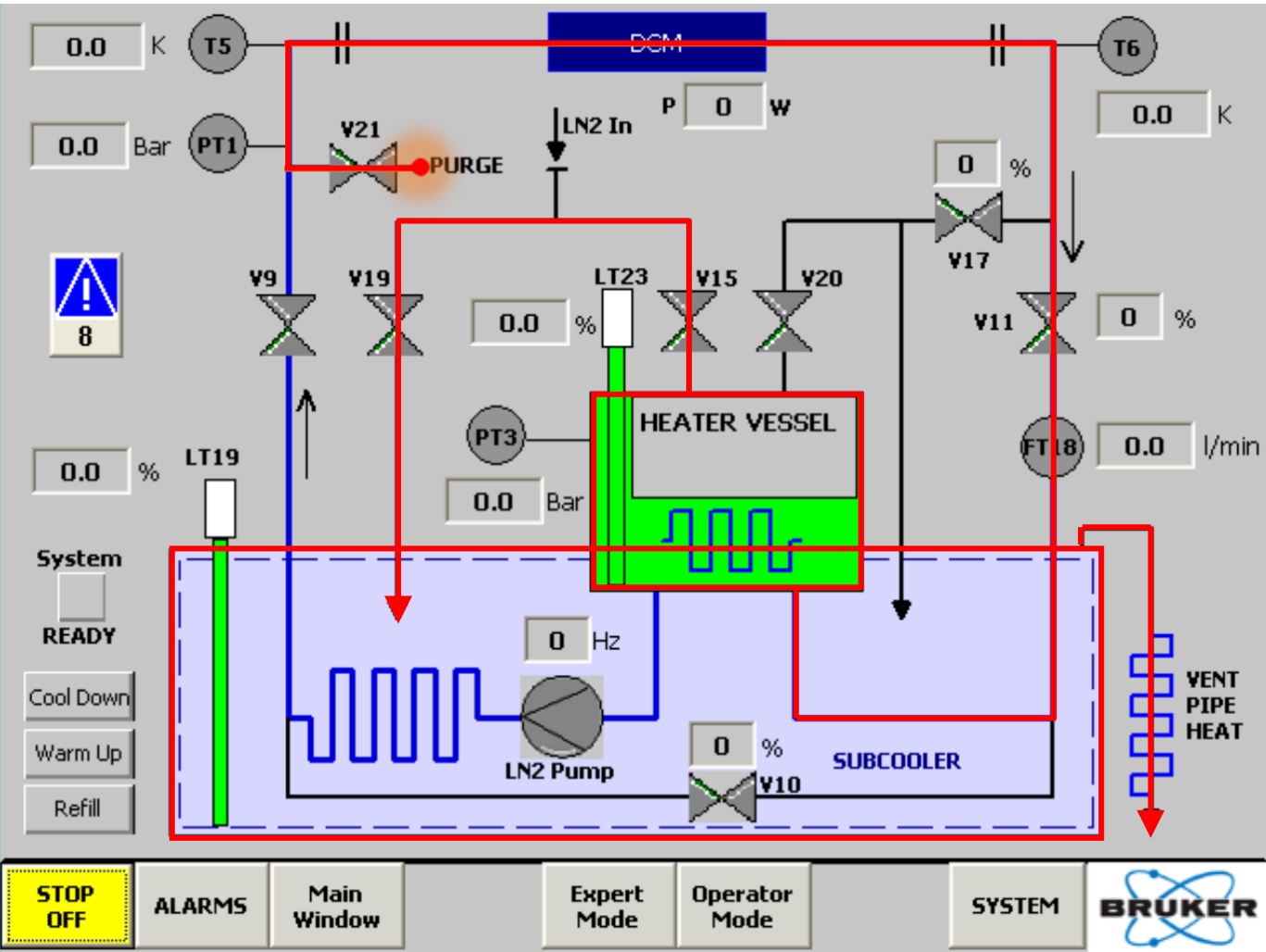
▪ Purging 경로 A

▪ Purging 경로 B

▪ V11, V15, V19 purging

- i. Close V17
- ii. Open V11
- iii. Open V15
- iv. Open V19
- v. Close V20

▪ Purging 경로 C



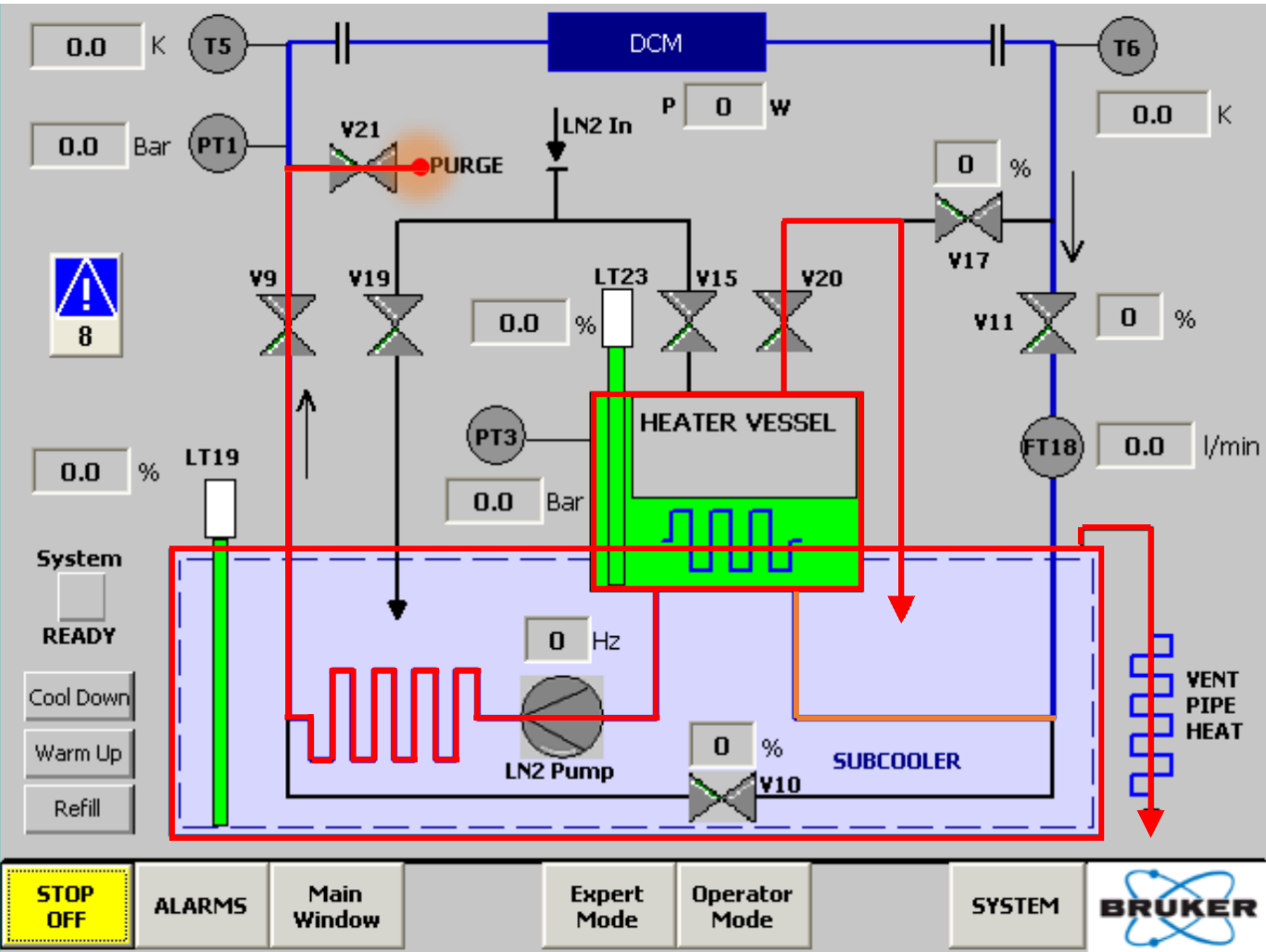
▪ Purging 경로 A

▪ Purging 경로 B

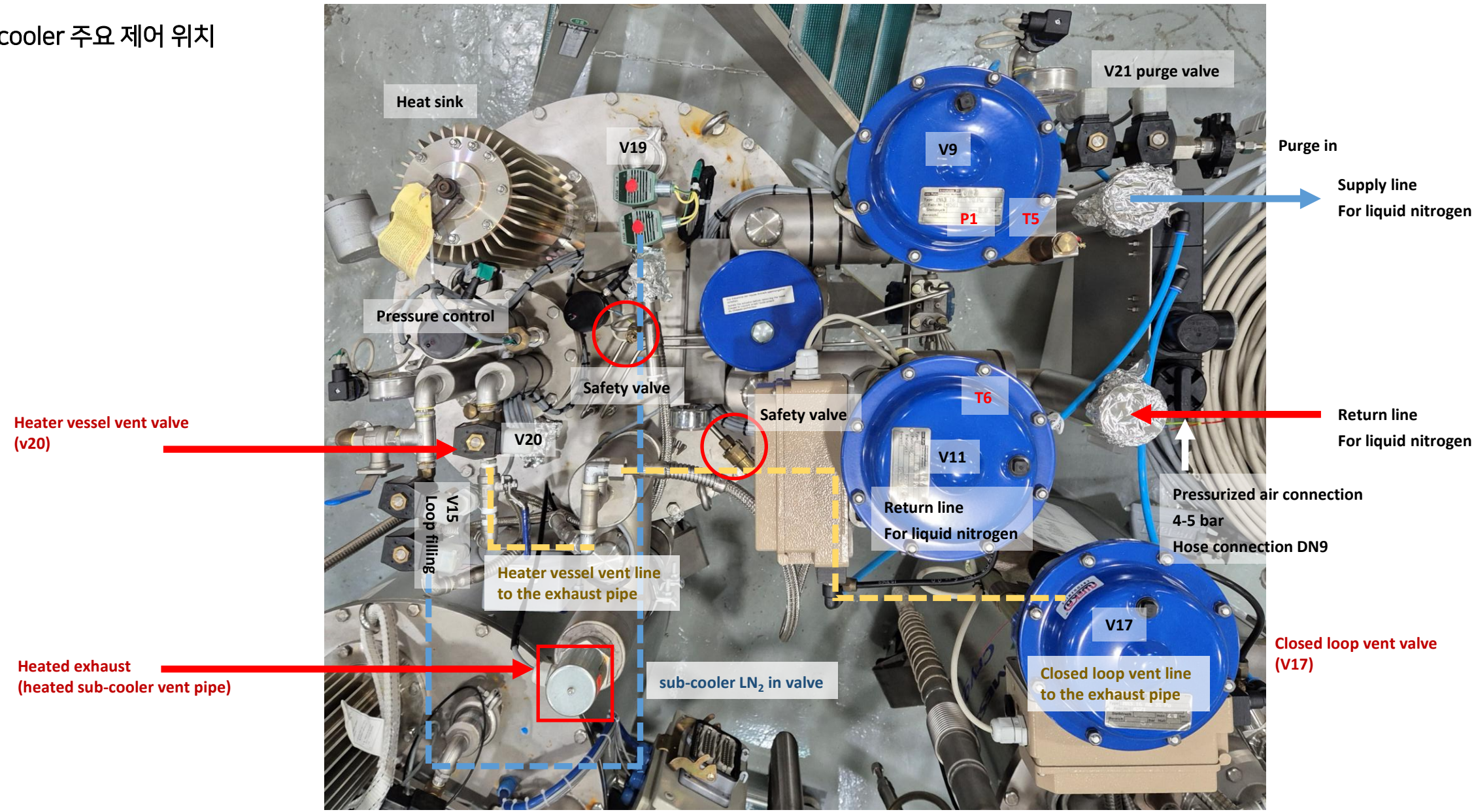
▪ Purging 경로 C

• V9, LN2 pump, V20 purging

- i. Close V15
- ii. Close V19
- iii. Close V11
- iv. Open V9
- v. Open V20



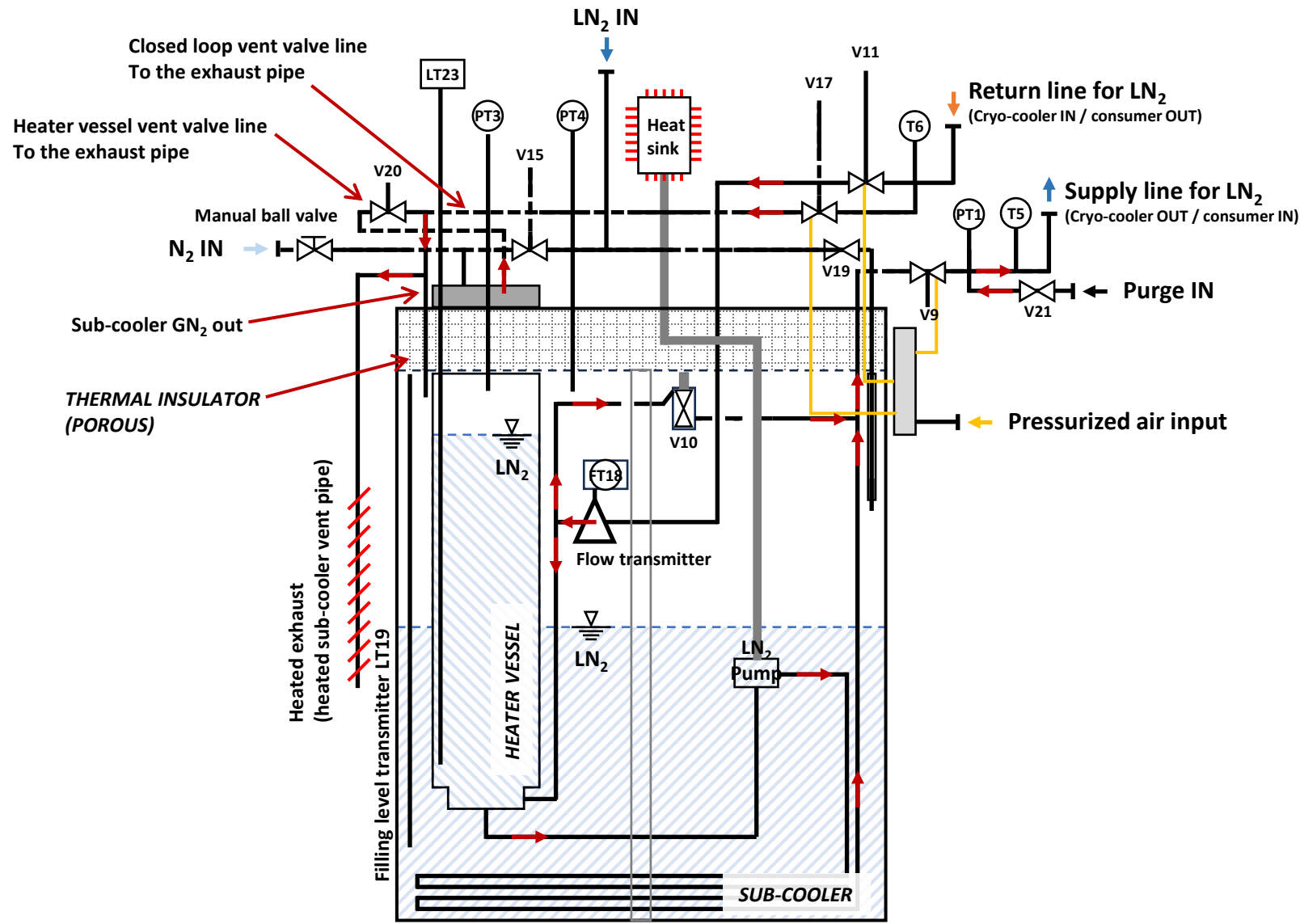
▪ Cryo-cooler 주요 제어 위치



▪ Cryo-cooler 내부 구조



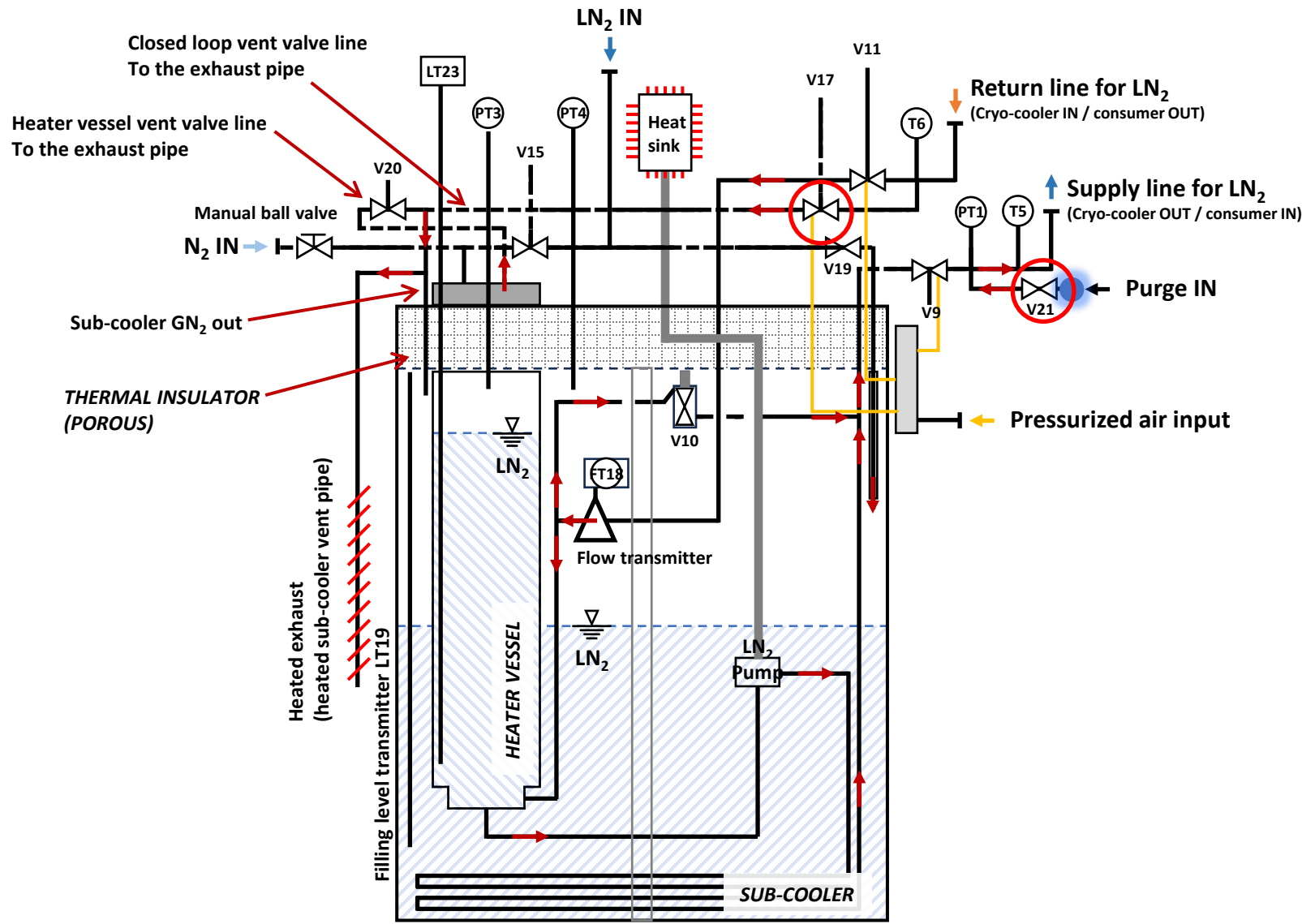
▪ Cryo-cooler 내/외부 diagram (기계)



- Purging 경로 A
 - Purge, V21, DCM, V17, sub-cooler purging
 - i. Open V21
 - ii. Open V17
 - iii. Open V20 (optional)

■ Purging 경로 B

■ Purging 경로 C

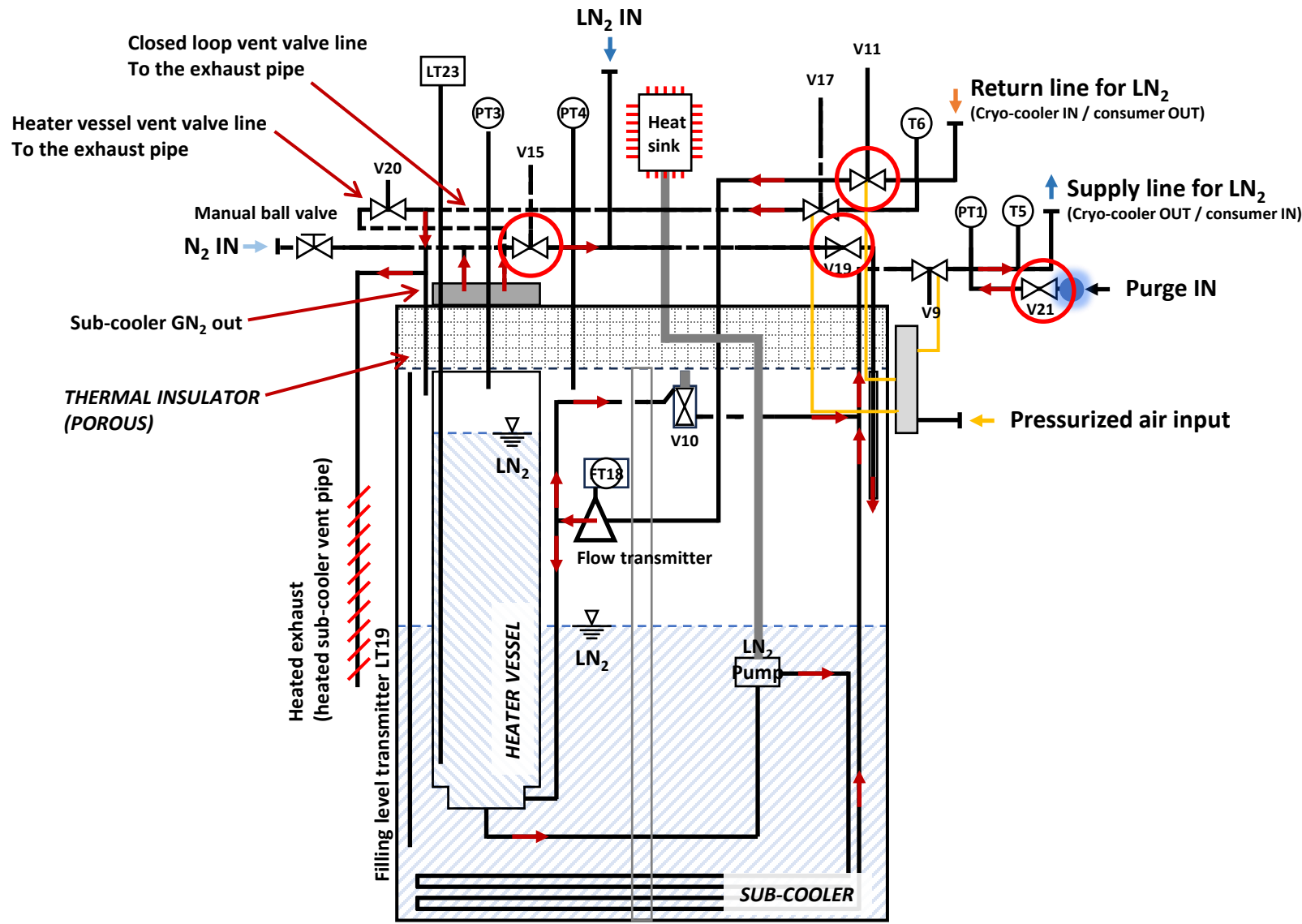


■ Purging 경로 A

■ Purging 경로 B
■ V11, V15, V19 purging

- i. Close V17
- ii. Open V11
- iii. Open V15
- iv. Open V19
- v. Close V20

■ Purging 경로 C



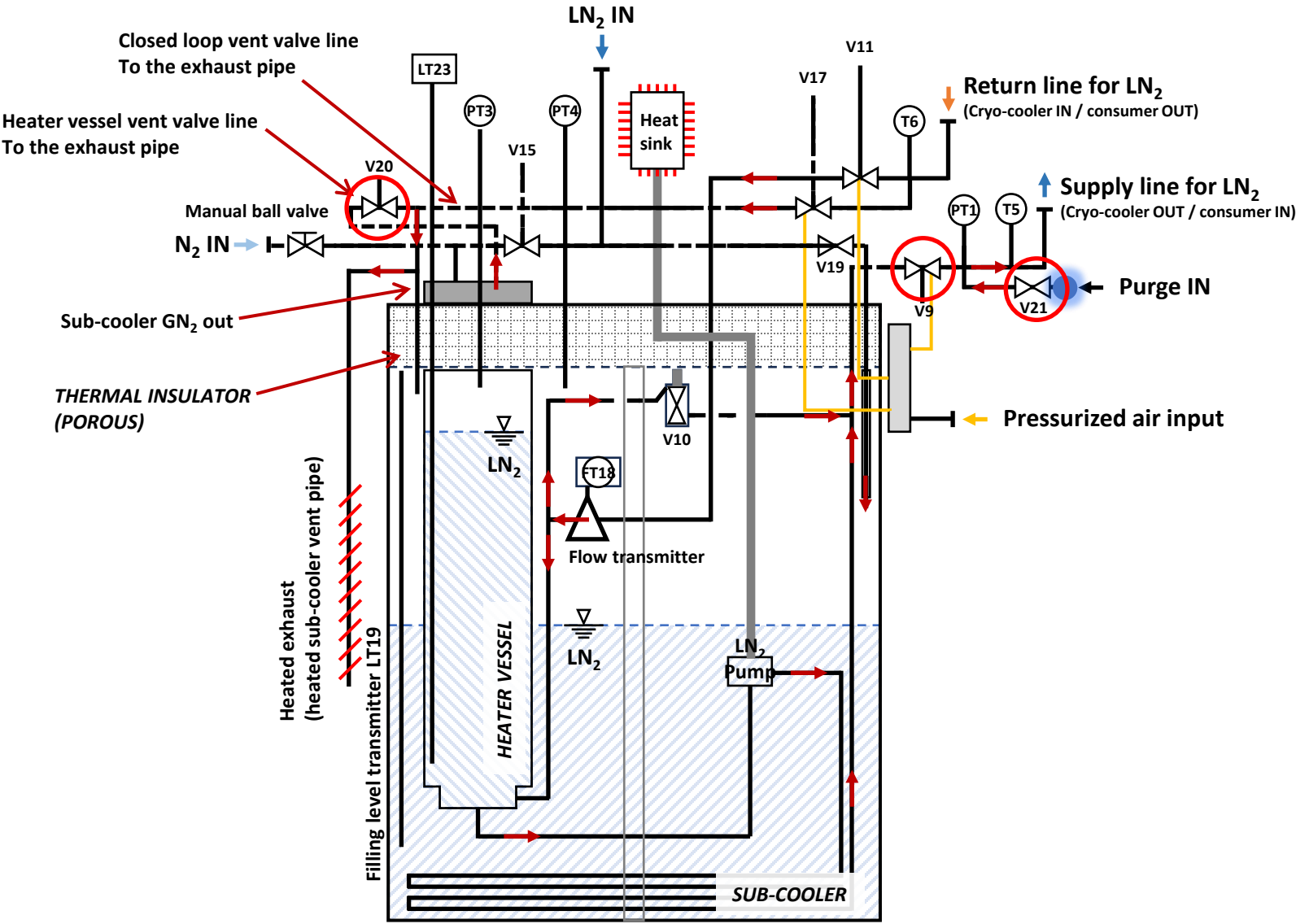
■ Purging 경로 A

■ Purging 경로 B

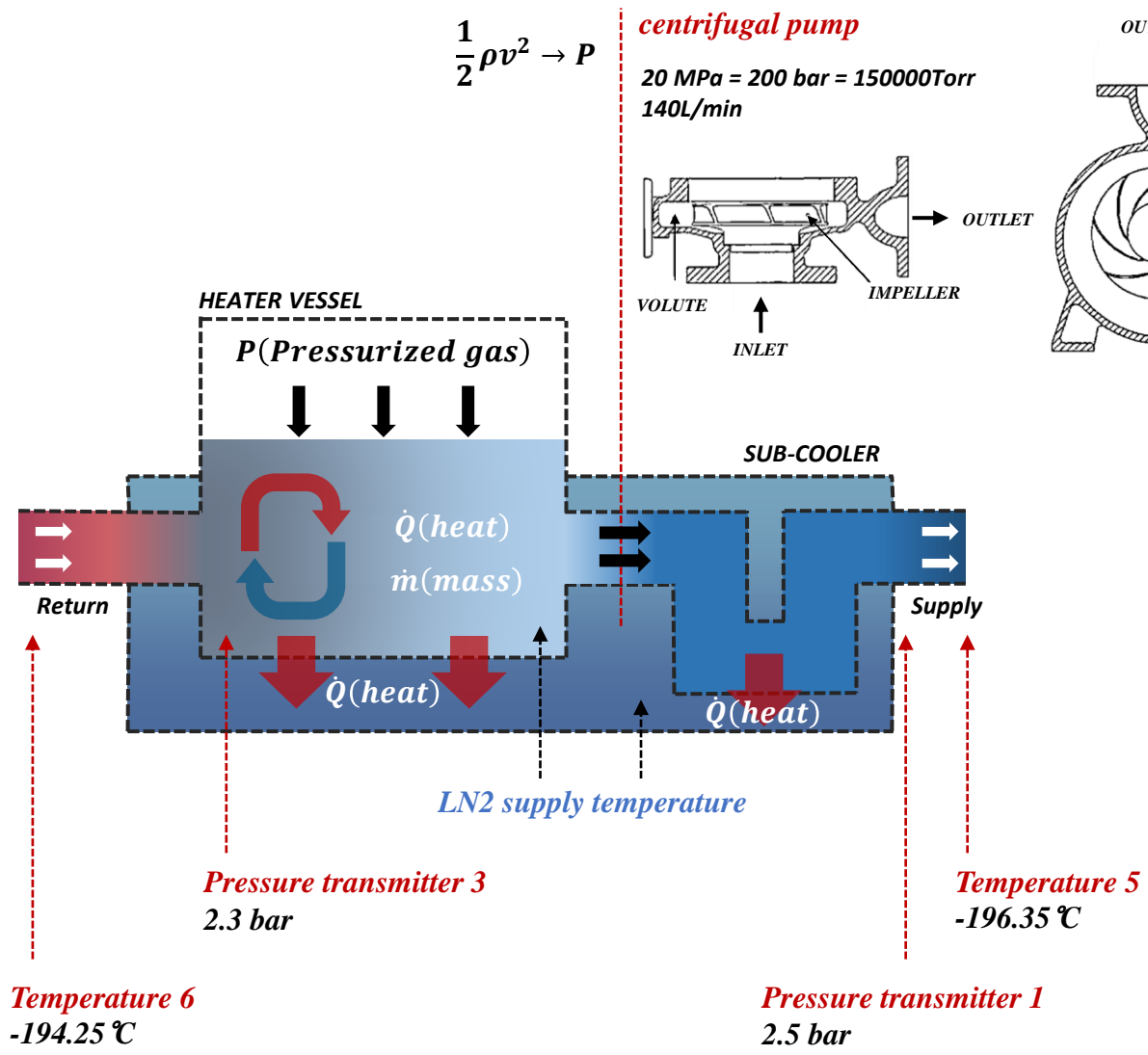
■ Purging 경로 C

- V9, LN2 pump, V20 purging

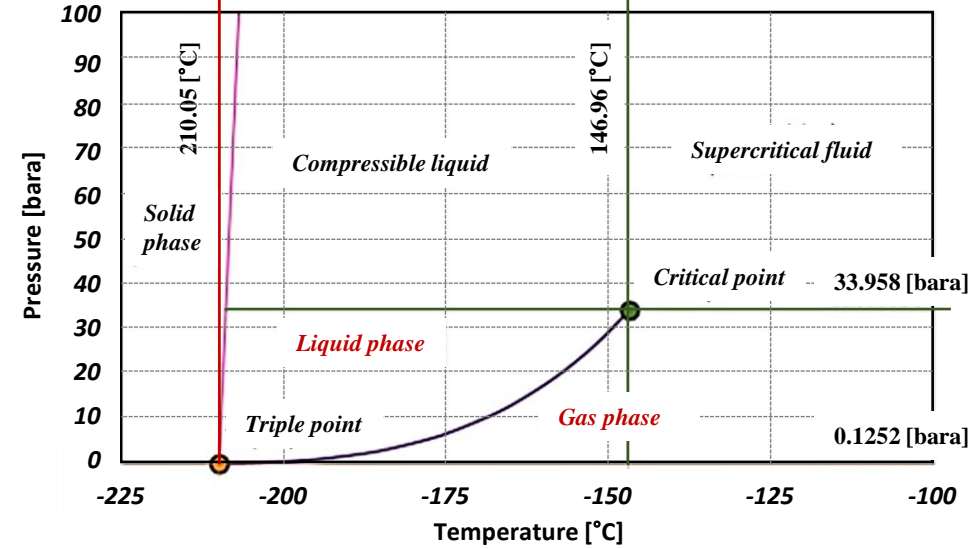
- i. Close V15
- ii. Close V19
- iii. Close V11
- iv. Open V9
- v. Open V20



■ Cryocooler 냉각 및 압력 시스템 diagram



■ Nitrogen phase diagram



➤ $\frac{\dot{m}_{HV}h_{HV}}{\text{Heater vessel 에너지 총량}} + \frac{\dot{m}_{CL}h_{CL}}{\text{DCM 냉각 후 에너지 총량}} = \frac{\dot{m}_{HV}h_{HV}}{\text{Heater vessel 총 유량}} + \frac{\dot{m}_{CL}h_{CL}}{\text{DCM 냉각 후 Heater vessel 에너지 통합 총량}}$

➤ $\dot{m}_{HV}h_{HV} + \dot{m}_{CL}h_{CL} = \frac{\dot{m}_{HV}h_{HV} + \dot{m}_{CL}h_{CL}}{\dot{m}_{HV} + \dot{m}_{CL}} \dot{m}_{HV} + \frac{\dot{m}_{HV}h_{HV} + \dot{m}_{CL}h_{CL}}{\dot{m}_{HV} + \dot{m}_{CL}} \dot{m}_{CL}$

Thermodynamic energy supplied to the DCM mirror

LN2 supply temperature < -196 [°C]

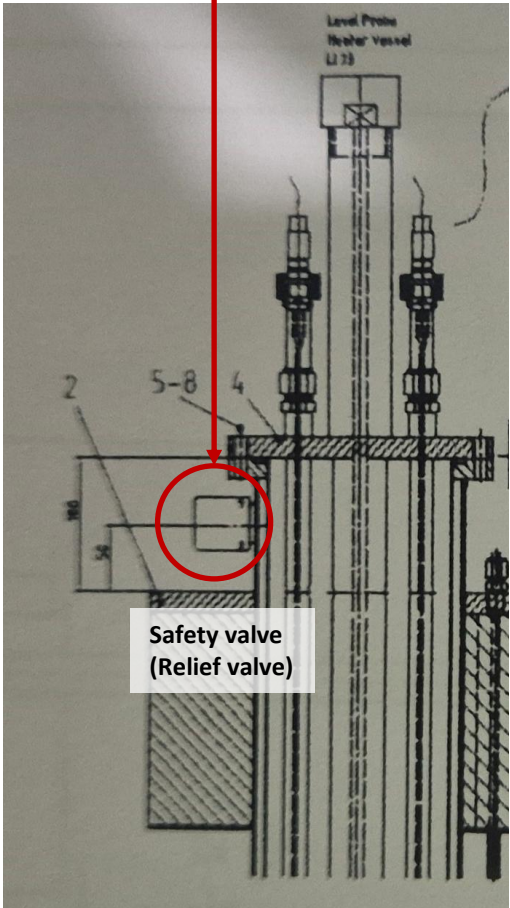
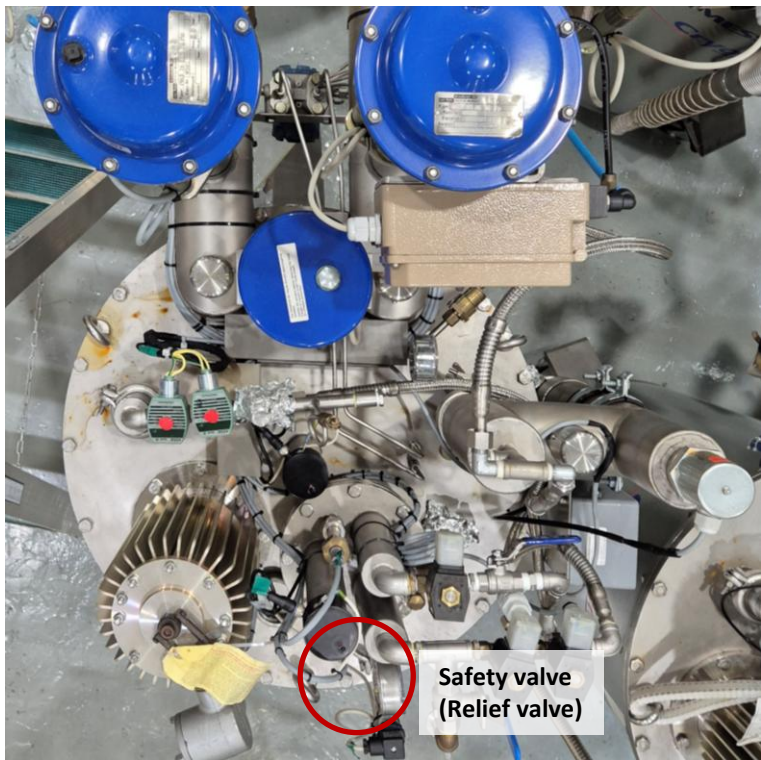
→ 공급 액체질소 이하의 온도로 낮아질 수 없으며, 시스템상 효율을 더 높이기 어려움.
→ 시스템 간소화, 유지보수 편의성 향상 등 용도에 적합하게 설계 변경 가능.

▪ 업무 일정 및 담당자 업무 (장치)

단계	업무내용	담당자	산출물	2025											
장치파트				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. 기계 시스템 초기 분석 및 자료 수집															
	기존 기계 장치 매뉴얼 및 도면 수집	김호영					→ "Cryo-cooler 정상화"								
	Cryo-cooler 내부 구조 분석	모형욱													
	주요 구성 요소 (밸브, 펌프, 히터 베슬 등) 작동 원리 분석	모형욱	기계장치 분석 보고서												
	(추가) Cryo-cooler 작동 및 진단	김호영	작동 및 진단 매뉴얼												
2. 냉각 및 유체 흐름 분석															
	(추가) LN ₂ 순환을 위한 가압 및 압력강하 분석	모형욱													
	냉각 시스템 분석	모형욱	냉각 시스템 설계 보고서												
	히터 베슬과 Sub-Cooler 구조 및 연결 방식 검토	박종하	밸브 및 배관 설계도												
3. 밸브 및 펌프 작동 방식 검토															
	주요 밸브의 용도 및 작동 방식 문서화	모형욱													
	펌프 유량 및 주파수 설정 조건 분석	모형욱													
4. 시스템 도면 및 CAD 설계															
	기존 시스템의 주요 부품 및 도면화 작업	박종하	기계설계도면 (2D)												
	(추가) 기존 시스템 유동장 및 냉각 해석	모형욱													
	신규 설계에 필요한 수정 사항 도출	김호영	수정사항 문서화												
5. 신규 기계 장치 설계 초안 작성															
	신규 기계 장치 설계 초안 작성	박종하													
	유지보수 편리성을 고려한 설계 반영	김호영	개선 결과 보고서												
	(추가) 설계 최적화	모형욱													
6. 기계 시스템 통합															
	LN ₂ 순환 및 냉각 시스템 통합 설계	모형욱	기계설계도면 (3D)												
	각 장치 간 연결 방식 검증	김호영													
7. 초기 프로토타입 설계															
	초기 소형 프로토타입 설계	박종하	시제품 설계 도면												
	LN ₂ 순환 및 냉각 테스트 시뮬레이션	모형욱													
8. 완료															
	보고서, 도면, 프로그램 수합	모형욱	결과보고서												

고장 분석

- Heater vessel에 LN₂ 충전 시 2bar 도달하지 않음
- Heater vessel 기준 압력 3 bar 변경 시 일시적으로 압력이 상승하다 하강
- Relief valve (safety valve) 작동
 - Expert mode에서 LT19 Auto on (V19 자동 열림), V19 작동 확인
 - 충진 중 PT3 (system) 및 pressure gauge 확인



- 2018-08-06
V19 작동 오류 → 컨트롤러 재부팅 후 V19 작동 → V19 작동이상
- 2018-08-31
LN₂ 충전 시 V19 옆 safety valve에서 LN₂ 누출 → safety valve 압력 조정
- 2018-18-28
LT19 Auto off 작동이상 →재부팅 후 expert mode 이용 close
- 2019-01-30
Safety (relief) valve 조정
- 2020-05-14
LT19 98%로 상승, V19 고장 판단하여 밸브 교체하였으나 해결불가능
LT19 sensor 교체 후 액체질소 양의 max / min을 센서리모컨으로 설정

압력 테스트

- 6.1.1. Pressure control test of the closed loop
- To control the pressure of the closed loop, bring the closed loop in the following conditions:
- Pump 40%
 - Open V10 to 60%
 - Open V11 to 100%
 - Set the pressure control to 2 bar
 - Fill the heater vessel to 30%
 - Wait for 12h to stabilize the system
 - There should be no change in the PT3 reading on the display over a timeframe of 1h
- The pressure control test should result in a pressure stability of ±10 mbar.

감사합니다.